

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：84307

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K00634

研究課題名(和文)新規水素精製プロセスの構築を目指した耐久性に優れた水素分離膜の開発

研究課題名(英文) Development of highly durable hydrogen separation membranes for the construction of a new hydrogen purification process

研究代表者

伊藤 史典 (Ito, Fuminori)

公益財団法人地球環境産業技術研究機構・その他部局等・研究員

研究者番号：10366429

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：将来的に水素を中心としたクリーンなエネルギー社会へ移行するためには、新たな水素精製技術の開発が必要である。本研究では、この課題に取り組んだ。すなわち、従来の水素分離膜を用いた水素精製法とは異なり、作製した高分子膜のガス透過に関する特徴を利用した、新たな水素精製技術およびプロセスを開発した。まず、2種類の高分子系の分離膜を作製した。その2種とは、H<sub>2</sub>、Heの様な拡散系のガスを優先的に透過することが可能な膜と、CO<sub>2</sub>を優先的に透過する膜である。これらの膜の特性を上手く組み合わせた分離技術およびプロセスを提案し、その基礎的な評価検討を行った。結果、高効率な水素精製プロセスを新たに開発できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素を中心としたクリーンなエネルギー社会へ移行するためには、新たな水素精製に対する技術開発が必要である。この課題に対し、本研究では、安価で高性能、そして高圧領域で耐性を有する高分子系の膜を開発した。次に、水素精製に向けた新たなプロセスを提案した。そして、開発した高分子系の膜を、提案したプロセスに組み込むことで、従来の水素精製プロセスには無かった、新たなアプローチによるプロセスを開発することが出来た。

研究成果の概要(英文)：In order to transition to a hydrogen-based clean energy society in the future, it is necessary to develop new hydrogen refining technologies. This study addressed this issue. In other words, unlike conventional hydrogen purification methods using hydrogen separation membranes, we have developed a new hydrogen purification technology and process that utilizes the gas permeation characteristics of the fabricated polymer membrane. First, separation membranes made of two types of polymers were fabricated. That is, (1) a membrane capable of preferentially permeating diffusion gas such as H<sub>2</sub> and He and (2) a membrane capable of preferentially permeating CO<sub>2</sub> were prepared. We proposed a separation technology and process that successfully combines the features of these membranes, and conducted a basic evaluation study. As a result, a new hydrogen purification process with high efficiency was developed.

研究分野：環境学，環境保全学，環境材料・リサイクル

キーワード：高分子膜 水素分離膜 水素精製プロセス

## 1. 研究開始当初の背景

水素は燃焼しても  $\text{CO}_2$  を排出せず、水にしかならないため、理想的なエネルギーであるといわれている。多くの人々が、将来は水素を中心としたクリーンなエネルギー社会へ移行するものと考えている。この様な状況に対し、真の水素エネルギー社会に向けて、低コストで、高効率な水素の製造、輸送、貯蔵をするための技術開発が求められている。

現在殆どの水素は、化石燃料起源の炭化水素を燃料とし、触媒を用いた水蒸気改質、その後の水性シフト反応から製造されている<sup>1)</sup>。これらの操作後、多種類の不純物ガスを分離して、純度の高い水素が精製される。水素の分離・精製手段は、膜分離、圧力スイング吸着 (PSA)、脱炭酸とメタネーションの組み合わせ等があるが、近年は、設備のコンパクト化と省エネが期待できる膜分離法が注目されている。膜分離法は、薄膜化、耐久性、圧力差、低コスト化が主な課題とされている<sup>2)</sup>。そのため、商用化を考慮した際、安価な膜材料の選択、高圧領域で長期間の分離安定性を示す膜開発が重要になる。以上の背景に対し、新たな水素精製の開発に注目した。すなわち、従来の水素を選択的に透過させる膜とは異なる分離メカニズムを示す、膜開発を行うこと。

その膜による、新たな水素精製プロセスの開発を行うこと。この2点の課題を、本研究で取り組むこととした。

まず、従来の透過メカニズムとは異なる、水素の分離を可能とする膜の開発に着手する。ここで、比較的安価な膜材料を用いて、高圧領域にて耐性を有する2種の高分子膜を作製する。その2種とは、水素 ( $\text{H}_2$ ) の様に、拡散性が非常に高いガスの透過を制御することが可能な膜と、反応に支配されて、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) を選択的に透過することが可能な膜、である。この2つの膜を並列に設置した際、 $\text{H}_2$  および  $\text{CO}_2$  を主とした混合ガスから、高濃度の  $\text{H}_2$  のみを分離回収できるプロセスの開発が可能になると予測した。このコンセプトに基づいて、 $\text{H}_2$  の分離回収原理の想定図を Fig.1 に示す。

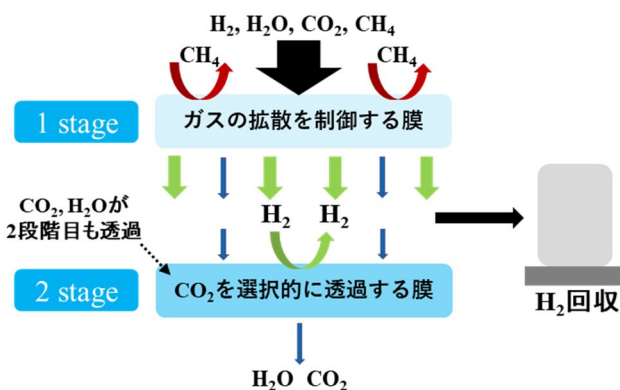


Fig. 1 新たに開発した水素精製プロセスの想定図

例えば、 $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  (水蒸気)、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等の混合ガスに対し、 $\text{H}_2$  の様に拡散性が高いガスを制御する膜を設置する (Fig.1: 1stage)。この場合、ある程度ガスの拡散を制御するものの、 $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  の拡散性が高いため、必ず膜を透過する。次に、反応に支配されて  $\text{CO}_2$  をより透過することが可能な膜を、2段階目に設置する。この場合、より多くの  $\text{CO}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  が膜を透過するが、それらのガスと比べて  $\text{H}_2$  の透過は僅かである (Fig.1: 2stage)。そのため、1stage と 2stage の中間層には、濃縮された  $\text{H}_2$  がより多く存在する。この  $\text{H}_2$  をそのまま回収することで、高純度な  $\text{H}_2$  の精製が可能になる。この原理に基づいて、本研究で2種の分離膜を作製し、互いの膜の特性を上手く生かすことで、新たな  $\text{H}_2$  の精製プロセスを開発できるものと期待した。

以上の経緯を基に、事業期間内での Fig.1 のプロセスの完成を目指して、本研究を開始する。

## 2. 研究の目的

従来の水素分離膜による水素精製とは異なるアプローチで、新たなプロセス開発を行う。まず、

$\text{H}_2$  の様な拡散性が高いガスの透過に対して、制御が可能な膜を作製する。次に、 $\text{CO}_2$  を選択的に透過することが可能な膜を製作する。これら2種の膜の特徴を上手く利用して、新たな  $\text{H}_2$  の分離回収技術、精製プロセスを提案する。そして、このプロセスの完成に必要な基礎的な検討を行うことで、新たなプロセス開発の完成を目指す。

以上、将来的に  $\text{H}_2$  を中心としたクリーンなエネルギー社会への移行を目指し、高純度の  $\text{H}_2$  回収が可能な省エネルギータイプの、新たな水素精製プロセスを構築することを本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) 水素精製プロセスを開発するために必要な、2種類の高分子系の膜の作製

新たな水素精製プロセスの開発に向けて、2種の高分子系の分離膜を作製した。

#### ガスの拡散を制御する膜の作製

拡散性の高いガスの透過を制御する膜として、ガスバリア特性を有したポリビニルアルコール (PVA) による膜を作製した。まず、所定濃度の PVA 水溶液を作製し、基材となる支持膜の表面上で、この溶液による塗工を行った。塗工には、パーコーターを使用した。塗工後、室温で乾燥、そして、熱による乾燥を行うことで膜を作製した。ここで、作製した膜に、炭酸塩を塗布したサンプルと、塗布していないサンプルの 2 種を用意した。

### CO<sub>2</sub> を選択的に透過する膜の作製

本研究で用いた食品用のゲルは吸水性と保水性が非常に高いため、成型した膜中で、CO<sub>2</sub> との反応による促進的な透過が可能になることが期待できる。そのため、これを CO<sub>2</sub> 分離膜作製のためのベースポリマーとした。このゲルに、相溶剤、吸水助剤等を添加して製膜液を作製した。この液を支持膜上に添加し、そのままパーコーターによる塗工を施した。塗工後、室温で乾燥、そして、熱による乾燥を行い、膜を作製した。この膜には炭酸塩を塗布した。

### (2) 作製した膜の分離性能評価試験

作製した膜を評価用のセルにセットした。この評価セルをガス分離評価試験装置に設置し、所定の温度まで昇温した。到達後、CO<sub>2</sub> と He の混合ガスを供給した。He は安全面を考慮して、H<sub>2</sub> の疑似ガスとして使用した。また、水蒸気 (H<sub>2</sub>O) を供給側のみから供給した。評価試験開始後、供給した混合ガスが膜を介して透過する。このガスの濃度を、ガスクロマトグラフィーで検定した。評価試験条件を基に、以下の (1)、(2) 式により分離性能 (CO<sub>2</sub>、He の透過速度、CO<sub>2</sub>/He の選択性) を評価した。

式中の  $Q_i$  は、ガス  $i$  のパーミアンス ( $\text{m}^3(\text{STP})\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ ) であり、 $\alpha_{\text{CO}_2/\text{He}}$  は、CO<sub>2</sub>/He の選択性である。 $F$  は、透過のガス総流量、 $A$  は、有効膜面積 ( $\text{m}^2$ ) である。 $p_f, p_p$  は、供給側と透過側の各々の圧力であり、 $x$  と  $y$  は、供給側と透過側のモル分率である。

$$Q_i = \frac{F y_i}{A \times (p_f x_i - p_p y_i)} \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{CO}_2/\text{He}} = \frac{y_{\text{CO}_2}/y_{\text{He}}}{x_{\text{CO}_2}/x_{\text{He}}} \quad (2)$$

## 4. 研究成果

### (1) ガスの拡散を制御する膜の分離性能結果

H<sub>2</sub> のように、拡散性が非常に高いガスの透過を制御する膜として、PVA による膜を選定した。この膜に炭酸塩を塗布、および塗布していないサンプル 2 種を準備した。この 2 つの膜の分離性能を評価した。85 °C、CO<sub>2</sub>/He=40/60、水蒸気 (供給側のみ:RH70%) の試験条件において、0.7 MPa と 2.4 MPa での分離性能結果を、Table 1 に示す。炭酸塩を添加したことで、 $Q_{\text{CO}_2}$  と選択性が僅かに向上した。炭酸塩を塗布した膜の分離性能試験では、0.7 MPa から 2.4 MPa

Table 1 PVA による膜の分離性能結果

炭酸塩	全圧 (MPa)	$Q_{\text{CO}_2}$ ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}/\text{Pa}$ )	$Q_{\text{He}}$ ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}/\text{Pa}$ )	$\alpha$	全圧 (MPa)	$Q_{\text{CO}_2}$ ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}/\text{Pa}$ )	$Q_{\text{He}}$ ( $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{s}/\text{Pa}$ )	$\alpha$
無	0.7	3.81E-12	1.19E-12	2.00	2.4	4.45E-12	2.31E-12	1.92
有	0.7	1.33E-11	1.57E-12	8.50	2.4	5.91E-12	1.45E-12	4.07

まで加圧した際、 $Q_{\text{He}}$  値が殆ど変化していない。この結果は、作製した PVA による膜は、低・中圧から高圧領域に加圧しても、He の透過を制御できることを意味する。本検討は、H<sub>2</sub> の疑似ガスである He の透過を制御できる膜かどうかの確認である。上記の結果から、炭酸塩を塗布した PVA による膜が、Fig.1 に示した、「ガスの拡散を制御する膜」を作製できたことを確認した。

### (2) CO<sub>2</sub> を選択的に透過する膜の分離性能結果

食品用のゲルをベースポリマーをとして、相溶剤、吸収助剤等を添加物として添加した膜を作製した。ここで、膜中の固形分を変化させた膜を数種類作製した。これらの膜全てに、炭酸塩を塗布して分離性能を評価した。85 °C、CO<sub>2</sub>/He=40/60、水蒸気 (供給側のみ:RH70%) 下で、0.7 MPa と 2.4 MPa による全圧での、分離性能を評価した結果を Table 2 に示す。

Table 2 において、膜中の固形分を高めたことで、CO<sub>2</sub> と He の選択性が向上していることを確認した。この結果は、2.4 MPa の高圧時でも、同様の傾向が認められた。

高圧領域での膜の耐圧性も評価した。すなわち、固形分 2.0wt%と 3.0wt%で作製した膜の高圧領域での評価試験において、3.6 MPa での分離性能も評価した。固形分が 1.0、1.5wt%で作製した分離膜は、2.4 MPa において 2.0wt%と 3.0wt%による膜の分離性能(CO<sub>2</sub>と He の選択性)より劣るため、検討から除外した。結果、2.0wt%による膜の 3.6 MPa での分離性能は、 $Q_{CO_2}$ : 4.76E-11、 $Q_{He}$ : 1.37E-11、

Table 2 固形分を変化させて作製した膜の分離性能結果

固形分 (wt%)	全圧 (MPa)	$Q_{CO_2}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s/Pa)	$Q_{He}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s/Pa)	$\alpha$	全圧 (MPa)	$Q_{CO_2}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s/Pa)	$Q_{He}$ (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /s/Pa)	$\alpha$
1.0	0.7	1.66E-10	1.19E-10	13.9	2.4	9.46E-11	2.42E-11	3.91
1.5	0.7	1.30E-10	4.43E-12	29.4	2.4	6.04E-11	4.46E-12	13.6
2.0	0.7	1.40E-10	4.19E-12	33.3	2.4	6.63E-11	4.49E-12	14.8
3.0	0.7	1.16E-10	2.63E-12	44.0	2.4	5.48E-11	2.34E-12	23.4

: 3.47 であり、3.0wt%による膜の 3.6 MPa での分離性能は、 $Q_{CO_2}$ : 3.41E-11、 $Q_{He}$ : 2.28E-12、 $\alpha$ : 14.9 であった。これらの結果は、2.0wt%で作製した膜の CO<sub>2</sub>と He の選択性が、2.4 MPa から 3.6 MPa に加圧したことで、選択性が 14.8 から一桁まで低下したことを意味する。一方、3.0wt%による膜は、3.6 MPa でも、10 以上の選択性を維持した。結果として、固形分を 3.0wt%に設定することで、高圧でも耐性を有する膜を作製できたことを確認した。

以上から、食品用のゲルをベースポリマーとして、相溶剤、吸収助剤等を配合し、固形分 3.0wt%に設定することで、高圧で耐性を有する CO<sub>2</sub>分離膜を作製できた。

### (3)作製した 2 つの膜による新たな水素精製プロセスの開発

これまで、高圧領域で耐性を有した「ガスの拡散を制御する膜:炭酸塩を塗布した PVA 膜」と「CO<sub>2</sub>を選択的に透過させる膜: 3.0wt%の固形分の食品用のゲルをベースポリマーとし、相溶剤と吸収助剤を配合した膜」を作製することが出来た。この 2 つの膜を、Fig.1 のプロセスに組み込むことで、新たな水素精製プロセスが完成する。

Fig.1 の提案した想定図に沿って、炭酸塩を塗布した PVA 膜を 1stage に、そして食品用のゲルをベースポリマーとした CO<sub>2</sub>分離膜を、2stage として、各々並列に設置する。これらの膜に対して、例えば、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O(水蒸気)の混合ガスを、高圧領域で供給する。PVA による膜は、この混合ガスから H<sub>2</sub>の透過を可能な限り、制御する。Table 1 の分離性能結果に基づくと、炭酸塩を塗布した PVA による膜は、He の透過を完全に制御できているわけではなく、多少は透過する。既報より、高分子に対する H<sub>2</sub>と He の透過速度は、1.5~2.0 倍程度の有意差がある<sup>3)</sup>。この報告に基づくと、PVA による膜を透過する H<sub>2</sub>の透過速度は、He より 2 倍程度高いものと予測する。すなわち、PVA による膜に対し高圧で H<sub>2</sub>を供給すると、He に比べてより多く透過する。また、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O(水蒸気)も、透過する。

これら透過したガス(H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O)の内、並列に設置した CO<sub>2</sub>分離膜に対して、多くの CO<sub>2</sub>と H<sub>2</sub>O が透過する。Table 2 における、固形分 3.0wt%の膜による 2.4 MPa の分離性能結果に基づくと、CO<sub>2</sub>分離膜における He の透過を、比較的制御していることが確認できる。この結果に従うと、実際に H<sub>2</sub>を供給した場合、PVA による膜と CO<sub>2</sub>分離膜の中間層には、純度の高い H<sub>2</sub>がより多く存在することが予測できる。この H<sub>2</sub>を回収することで、新たな H<sub>2</sub>精製プロセスが完成する。以上より、本研究で作製した高分子系の 2 種の膜を、Fig.1 に提案した想定図に組み込むことで、新たな H<sub>2</sub>精製プロセスの完成への目途がついた。

本研究は、これまでに無かった、新たなアプローチによる H<sub>2</sub>精製プロセスを開発することが主目的であり、その目標は達成できたものと考えている。今後、本研究で開発したプロセスを発展する研究(例えば、膜による H<sub>2</sub>の透過速度の向上、H<sub>2</sub>の効率的な回収手段の開発等)が、必要になる。ただし、これらの課題は今後の更なる研究により、解消されていくものと期待している。

本報告の結論として、本研究を事業期間内で鋭意検討を行い、提案した Fig.1 の想定図に示すような、これまでに無かった新たなアプローチでの H<sub>2</sub>精製プロセスを開発することが出来た。

### 引用文献

- 1) 「材料マニュアル」新素材マニュアル, 第 24 集, (2007)
- 2) 水素エネルギーシステム, 26, 14, (2001)
- 3) ゴムのガス透過性, 日本ゴム協会誌, 第 53 巻, 第 12 号, (1980)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Fuminori Ito, Rie Sugimoto, Misato Mori, Hidetaka Yamada	4. 巻 33
2. 論文標題 Development of a polyvinyl alcohol/sodium polyacrylate composite polymer membrane with cesium carbonate as a mobile carrier for high-performance CO2 capture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymers for Advanced Technologies	6. 最初と最後の頁 1677-1684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pat.5630	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Rie Sugimoto, Misato Mori, Hidetaka Yamada	4. 巻 58
2. 論文標題 High performance CO2-facilitated transport membrane fabricated by compounding amine-terminated dendrimer in composite of polyvinyl alcohol and water-absorbing agent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry	6. 最初と最後の頁 849-859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10601325.2021.1961589	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Shuhong Duan, and Hidetaka Yamada	4. 巻 78
2. 論文標題 Effects of the polymer composite composition and amine-based additives on the performance of a polymer composite CO2 separation membrane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer Bulletin	6. 最初と最後の頁 513-528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00289-020-03122-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Rie Sugimoto, Misato Mori, Hidetaka Yamada	4. 巻 138
2. 論文標題 CO2-facilitated transport membranes prepared by blending polyvinyl alcohol (PVA) and various water-absorbing agents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Applied polymer science	6. 最初と最後の頁 50191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/app.50191	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Rie Sugimoto, Misato Mori, Hidetaka Yamada	4. 巻 60
2. 論文標題 Factors for improving the performance of the separation membranes prepared by the blending of polyvinyl alcohol and a water absorbing agent	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymer-Plastic Technology and Materials	6. 最初と最後の頁 659-669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/25740881.2020.1826521	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Shuhong Duan, Hidetaka Yamada	4. 巻 28(4)
2. 論文標題 Examination of selection and combination of water-absorbing agent to blend with polyvinyl alcohol (PVA) in preparing CO2 separation membrane with high performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecular Research	6. 最初と最後の頁 365-372
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13233-020-8043-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobuhiko Hosono, Wenbo Guo, Kenichiro Omoto, Hidetaka Yamada, Susumu Kitagawa	4. 巻 48
2. 論文標題 Bottom-Up Synthesis of Defect-Free Mixed-Matrix Membranes by Using Polymer-Grafted Metal-Organic Polyhedra	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 597-600
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田秀尚	4. 巻 19
2. 論文標題 CO2固定化・有効利用技術の概要	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 環境浄化技術	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山田秀尚	4. 巻 29
2. 論文標題 CO2回収用アミン溶液の反応とその圧力依存性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 高圧力の科学と技術	6. 最初と最後の頁 199-205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fuminori Ito, Hidetaka Yamada, Kiyoshi Kanamura, Hiroyoshi Kawakami	4. 巻 29
2. 論文標題 Preparation of Biodegradable Polymer Nanospheres Containing Manganese Porphyrin (Mn-Porphyrin)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials	6. 最初と最後の頁 1010-1018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10904-018-0991-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fuminori Ito, Yuriko Nishiyama, Shuhong Duan, Hidetaka Yamada	4. 巻 26
2. 論文標題 Development of high-performance polymer membranes for CO2 separation by combining functionalities of polyvinyl alcohol (PVA) and sodium polyacrylate (PAANa)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Polymer Research	6. 最初と最後の頁 106 p1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10965-019-1769-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Teruhiko Kai, Shuhong Duan, Fuminori Ito, Satoshi Mikami, Yoshinobu Sato, Shin-ichi Nakao	4. 巻 114
2. 論文標題 Development of CO2 Molecular Gate Membranes for IGCC Process with CO2 Capture	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy Procedia	6. 最初と最後の頁 613-620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.egypro.2017.03.1203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 A. Hyono, R. Yoshitani, M. Takase, K. Suzuki, F. Ito, and M. Chiba
2. 発表標題 Preparation and manipulation of silver nanostructure with plasmon activity by a simple method
3. 学会等名 PRIME 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉谷立, 鈴木啓太, 高瀬舞, 伊藤史典, 千葉誠, 兵野篤
2. 発表標題 銀で修飾したポリスチレン粒子の光学特性
3. 学会等名 化学系学協会北海道支部2020年冬季研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yamada
2. 発表標題 Simulation of Amine-Based CO <sub>2</sub> Capture Using Transition State Theory
3. 学会等名 17th International Conference on Carbon Dioxide Utilization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田秀尚
2. 発表標題 二酸化炭素分離回収用新規材料の開発と実用化展開
3. 学会等名 第32回CES21 (Chemical Engineering & Science 21) 講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 山田秀尚
2. 発表標題 地球温暖化対策技術開発におけるミクロとマクロの分子科学
3. 学会等名 分離技術会年会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田秀尚
2. 発表標題 CO2回収技術の最新動向
3. 学会等名 新化学技術推進協会エネルギー・資源技術部会エネルギー分科会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田真紀、藤田拳人、保科貴亮、山田秀尚、辻智也、日秋俊彦
2. 発表標題 MDシミュレーションによるモノエタノールアミン、ブチルエタノールアミン水溶液の液体構造の解析
3. 学会等名 第51回日本大学生産工学部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口徹、山田秀尚、眞田昭平、藤原崇幸、堀憲次
2. 発表標題 量子化学計算と反応速度論によるpH及び基質濃度の追跡シミュレーション
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田拳人、岡田真紀、保科貴亮、山田秀尚、辻智也、日秋俊彦
2. 発表標題 313Kにおけるブチルエタノールアミンおよびメチルジエタノールアミン水溶液のCO2吸収に伴う電気伝導度の変化
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yamaguchi, H. Yamada, T. Fujiwara, K. Hori
2. 発表標題 Calculation of Physical Properties of Materials with QM and MD Simulations
3. 学会等名 8th International Symposium on Molecular Thermodynamics and Molecular Simulation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Yamada
2. 発表標題 The Chemistry of Amine-Based CO2 Capture
3. 学会等名 International Conference on Chemical Science and Technology for Sustainable Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田秀尚
2. 発表標題 アミン系材料を用いたCO2分離回収技術の研究開発
3. 学会等名 化学工学会第49回秋季大会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田拳人, 岡田真紀, 保科貴亮, 山田秀尚, 辻智也, 日秋俊彦
2. 発表標題 313Kにおけるブチルエタノールアミン水溶液のCO2吸収に伴う溶液物性の変化
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山田秀尚 (を含めた全75名)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 565
3. 書名 CO2削減、省エネに関する新技術、採用事例、規制対応	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	山田 秀尚  (Yamada Hidetaka)  (60446408)	金沢大学・先端科学・社会共創推進機構・准教授   (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------